

令和 5 年 5 月 2 日現在

機関番号：12614

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14961

研究課題名（和文）速度ベクトル計測のための合成開口レーダ信号解析と海流計測への適用性評価

研究課題名（英文）Signal analysis on synthetic aperture radar for velocity vector measurement and applicability evaluation to ocean current measurement

研究代表者

吉田 毅郎（Yoshida, Takero）

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：30771505

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：合成開口レーダによる移動体の速度ベクトル計測において、マルチルックという信号処理を活用することで2方向の速度成分を求める計測方法を適用した。本研究では数値シミュレーションや合成開口レーダ画像解析から、実際の海域や水域における速度ベクトル推定において応用可能か検証を行った。特に、河川や沿岸域の海表面流に対して適用することで評価を行った。これに加えて、合成開口レーダによる移動体の速度ベクトル計測について、Spotlightモードの合成開口レーダ画像に対しても適用した。船舶の速度ベクトル推定を行う方法についても検証し、前処理として移動する船舶を検出する方法なども検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

合成開口レーダによる計測方法の新たな提案を行い、その手法の評価や制限などを検証した。船舶についての移動情報を取得することは、船舶自動識別装置を搭載していない船の情報を得ることにつながる。また、海域や水域において流れの計測に対しては、海域や水域におけるデータを取得する際の手法として、適用性に制約はあるものの今後発展する可能性があるといえる。

研究成果の概要（英文）：In the observation of velocity vectors of moving objects using synthetic aperture radar, a method called multi-look processing was applied to estimate two directional velocity components. In this study, numerical simulation and image analysis of synthetic aperture radar images were used to verify the applicability of the method for velocity vector estimation in actual marine and aquatic environments. Specifically, the method was evaluated for surface current in rivers and coastal areas. In addition, a method for estimating the velocity vector of cruising ships using synthetic aperture radar images in Spotlight mode was verified, and detection of moving ships was also studied as a preprocessing.

研究分野：海洋情報解析

キーワード：合成開口レーダ 海洋 船舶 河川

1. 研究開始当初の背景

合成開口レーダによる移動体の速度ベクトル計測は、水域や海域において流れなどの計測に應用が期待されている。これまで合成開口レーダを用いた移動体の速度計測方法は、2 台のレーダを並べて計測し、2 台の中央から計測対象を見た視線方向の 1 方向成分しか計測できないという欠点があった。そこで、レーダ信号解析において、マルチルックという信号処理を活用することで 2 方向の速度成分を求める新たな計測方法が申請者らにより示された。2 方向の速度成分が既知となれば移動体の進行角度も推定されるため速度ベクトル計測が可能となる(図 1)。この手法を実際の海域や水域における速度ベクトル推定において應用可能か検証するために、本研究では数値シミュレーション及び合成開口レーダ画像解析を行う。

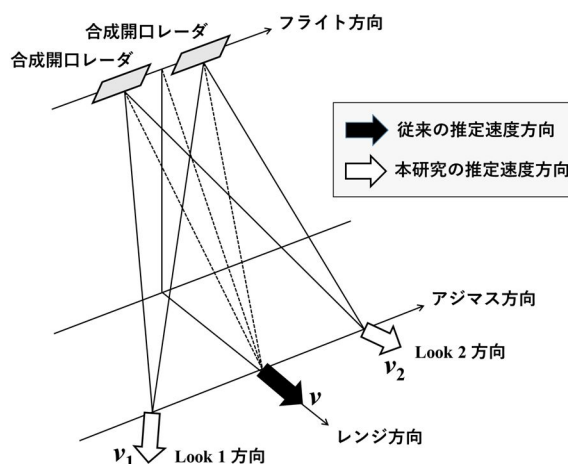


図 1 マルチルック処理を活用した 2 方向速度成分推定方法

2. 研究の目的

マルチルック処理による解析から、河川や沿岸域の表面流に対して適用性を評価する。これに加えて、Spotlight モードと呼ばれる高分解能の合成開口レーダ画像に対してマルチルック処理を適用し、船舶の速度ベクトル推定を行う方法についても評価を行う。

3. 研究の方法

マルチルック処理を用いた速度推定方法については、情報通信研究機構の航空機搭載合成開口レーダ Pi-SAR2 に対して適用し、まずレーダ信号の特性を把握する。速度ベクトル推定において必要な移動角度の情報を得るために、河川の水面の移動角度の推定に対して適用する。河川の場合、画像から河川の角度が既知であるため、移動角度の推定結果と比較することで精度検証を行う。次に、沿岸域の海表面流に対して同様に検証を行う。海表面流については沿岸域に設置された海洋レーダの計測値と比較する。

Spotlight モードの合成開口レーダ画像については、合成開口時間が長いと船舶のような移動体はアジマス方向に伸びて映像されるような特徴がある(図 2)。これに対して、マルチルック処理から合成開口時間を分割した画像を生成する。合成開口時間の前半と後半の画像を比較することで、船舶の速度推定を行う。船舶の移動角度は画像に写る船舶の向きから求め、推定速度と合わせて速度ベクトルの推定を行う。ここでは宇宙航空研究開発機構 ALOS-2/PALSAR-2 の Spotlight モードの合成開口レーダ画像を用いて推定を行い、自動船舶識別装置 (AIS) で得られた船舶の情報と比較を行う。

また、移動する船舶を効率的に検出するために上記手法を適用する前処理として、深層学習を用いた画像解析による自動検出を適用する。Spotlight モードの合成開口レーダ画像からアジマス方向に伸びた船舶を学習させ、自動検出モデルを作成する。

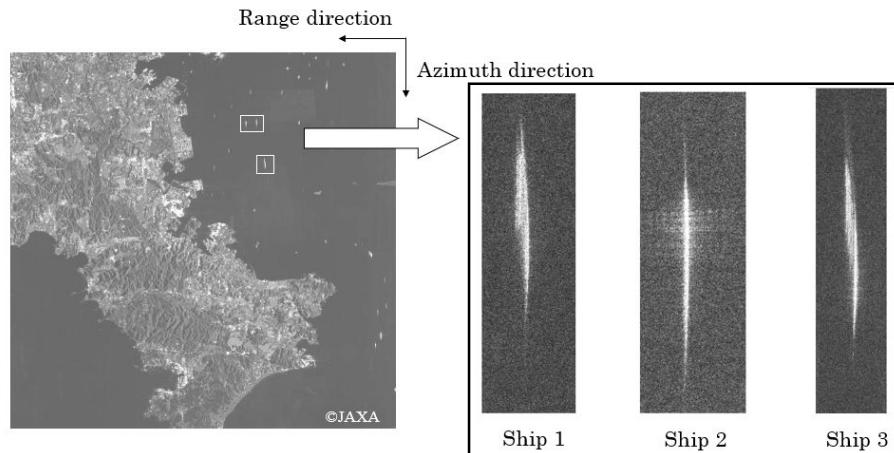


図2 Spotlight モードにおける船舶の画像

4. 研究成果

マルチルック処理を用いて航空機搭載合成開口レーダ画像に対して、江戸川を対象として解析を適用した。航空機搭載の場合に2台のレーダ間の位相差を補正するために、解析対象と同じアジマス方向上の静止した陸域を参照点と設定した。河川の場合は河川敷を陸域の参照点として解析した結果、河川の流れの角度推定は約20度の誤差で概ね良好な精度で角度推定が行えることを示した。従来までに存在する速度推定方法に加えて、今回の角度推定方法を追加することで、マルチルック処理を用いた速度ベクトル推定が可能であることを示した。次に、画像解析と数値シミュレーションによる検討から、航空機搭載の合成開口レーダはアジマス方向のビーム幅が比較的広いことから、本研究で実施した手法で移動角度推定に適していることを示した。

沿岸域については、航空機搭載の合成開口レーダ画像について伊勢湾を対象として解析を行った(図3)。河川で適用した場合と同様に、陸地の参照点との差分を求めた。沿岸の海洋レーダによる計測地点と同じアジマスライン上に位置する空港や砂浜などを陸地の参照点とし、流れがある程度速い場合を対象として解析を行った。推定結果として、海面との標高差が少ないと考えられる沿岸の砂浜を参照点として移動角度の推定を行う場合の方が位相差のヒストグラム(図4)にばらつきが少なく、参照点には砂浜の方を解析に適用する方が望ましいと考えられる。また、海表面流の移動角度がレーダに対してアジマス方向に近い場合は、20度程度の角度推定誤差であり、概ね良好な精度で角度推定が行えることを示した。しかし、海表面流の移動角度がレーダに対してレンジ方向に近い場合は、推定精度が悪くなる傾向が見られた。このような場合に、マルチルック処理により得られる2方向の速度成分の差が小さくなることに起因している。これは航空機搭載の合成開口レーダで海流の移動角度を求める際の制約となる。

また、合成開口レーダ画像(Spotlightモード)から船舶の速度ベクトル推定については、東京湾から三浦半島を航行する船舶に対して適用した。その結果、特にアジマス方向に高速に航行する船舶については角度推定誤差が約15度と良好な精度で推定が可能であった。一方で、レンジ方向に航行する船舶や低速で航行する場合には、推定精度が下がる。上記の流れ方向推定と同様に、観測対象の移動方向と合成開口レーダ画像のアジマス方向との角度を考慮した上で本手法を適用する必要があると言える。

Spotlightモードの合成開口レーダ画像に対して速度ベクトル推定を適用する前処理として、航行している船舶のみを効率よく抽出するために深層学習を用いた検出を行った。概ね0.5ノット以上で航行する船舶のみを自動検出することが可能となった。速度ベクトル推定方法と同時に活用することで、合成開口レーダ画像から効率的に船舶の移動情報を得るための基礎を構築した。

今後は、他の航空機や人工衛星搭載の合成開口レーダに対しても解析を検討する必要がある。また、本研究で課題となったような、移動体の移動方向と合成開口レーダ画像との関係について、より多くのデータを解析することで更なる考察を行うことが望ましいと言える。

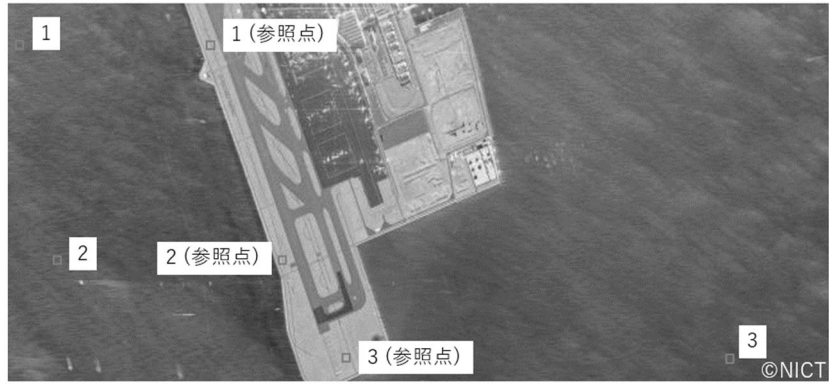


図3 航空機搭載合成開口レーダ画像の例

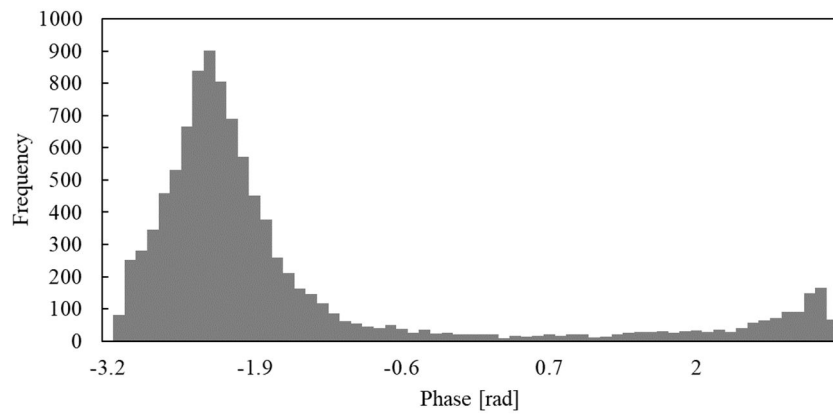


図4 2台のレーダで得られた位相差のヒストグラムの例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Takeru Yoshida, Kazuo Ouchi	4. 巻 14
2. 論文標題 Detection of Ships Cruising in the Azimuth Direction Using Spotlight SAR Images with a Deep Learning Method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 4691
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/rs14194691	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yoshida Takeru, Ouchi Kazuo	4. 巻 14
2. 論文標題 Improved Accuracy of Velocity Estimation for Cruising Ships by Temporal Differences Between Two Extreme Sublook Images of ALOS-2 Spotlight SAR Images With Long Integration Times	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 11622 ~ 11629
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSTARS.2021.3127214	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Takeru Yoshida, Kazuo Ouchi, Chan-Su Yang	4. 巻 14
2. 論文標題 Application of MA-ATI SAR for Estimating the Direction of Moving Water Surface Currents in Pi-SAR2 Images	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 2724 ~ 2730
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSTARS.2021.3060008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Takeru Yoshida, Kazuo Ouchi
2. 発表標題 Detecting azimuth moving ships using extended image features in spotlight SAR data by deep learning
3. 学会等名 International Conference on Space, Aeronautical and Navigation Electronics 2022 (ICSANE 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takeru Yoshida
2. 発表標題 Detecting moving ships in ALOS-2 spotlight SAR images by deep learning model
3. 学会等名 International Conference on Space, Aeronautical and Navigation Electronics 2021 (ICSANE 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeru Yoshida, Kazuo Ouchi
2. 発表標題 Estimating Azimuth Displacement of Moving Ships by Sub-Look Image Analysis of ALOS-2 Spotlight Long Inter-Look Time Difference
3. 学会等名 Radar2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	大内 和夫 (Ouchi Kazuo)		
研究協力者	ヤン チャンス (Yang Chan-Su)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
韓国	KIOST			